



多重光学系撮像装置に関する研究

著者	奈良部 忠邦
号	57
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	工博第4735号
URL	http://hdl.handle.net/10097/61702

	ならぶ ただくに
氏 名	奈良部 忠邦
授 与 学 位	博士 (工学)
学位授与年月日	平成24年9月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 技術社会システム専攻
学 位 論 文 題 目	多重光学系撮像装置に関する研究
指 導 教 員	東北大学教授 須川 成利
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 須川 成利 東北大学教授 吉信 達夫 東北大学教授 大町 真一郎

論 文 内 容 要 旨

近年, 撮像素子の高画質化, 高機能化が飛躍的に進み, デジタルカメラや携帯電話などの撮像装置の高性能化が大いに図られている. これは, 撮像素子の画素サイズ縮小による高解像度化と小型化によるところが大きい. 最近では, 画素サイズが光の波長と同オーダーになってきており, 今以上に画素の微細化を進めても, 解像度を向上できないような状況に達している. 一方で, 撮像素子には, 単に撮影するだけではない他の機能の付加も求められるようになってきている. 本論文は, こうした背景に鑑み, 撮像素子のひとつの画素に複数の光学系からの光線情報が入るという従来にない構造的長持を持つ新しい概念の多重光学系撮像装置を提案し, その原理の確認と, 画質の向上および付加機能としての距離抽出の性能についてまとめたものであり, 全文5章からなる.

第1章は, 序論であり, 研究の背景, 目的と本論文の構成を述べている. 前述の背景の下, 研究目的の具体的な項目は三項目あり, ひとつは, 多重光学系撮像装置の動作を確認すること, 二つめは, 多重光学系撮像装置のS/N比が向上することを確認すること, 三つめは, 多重光学系撮像装置が距離情報を取得する機能を有するかどうかを確認することである.

第2章では, 撮像素子および撮像装置の技術動向を分析し, 先行研究に対する当該論文の新規性を明らかにしている. 近年進展し続けるノイズの低減技術と画像信号処理技術を有効に活用し, ひとつの画素に複数の光学系からの光線情報が入るという構成を用いることにより, 被写体までの距離を抽出する機能を付加し, 高解像度, 高S/N比, 小型, 軽量といった特性を併せ持つ, 多重光学系撮像装置の実現性を明らかにすることが本論文の目的であることを明確にしている.

第3章では, 多重光学系撮像装置の理論的考察, 動作原理確認を行っている. 多重光学系撮像装置は, 複数の光学系, ひとつの撮像素子, 画像信号処理装置から構成され, 撮像素子から出力された多重に光情報が重畳した光信号を処理することによって高画質な再生画像を得る撮像装置であり, その理論的考察として, 被写体から撮像装置に入力される生の光情報と, 撮像素子で得られた光信号との関係を定式化した上で, 所望の画像を算出す

る手法を述べている。さらに、多重光学系撮像装置の画質を S/N 比として定量的に評価する方法を明らかにし、また、距離情報を抽出する方法についても明らかにしている。これは、新規かつ極めて重要な成果である。

第 4 章では、多重光学系撮像装置の動作とその特性の確認を行った結果について述べている。5 つの光学系を設置する位置とその瞳角度を変化させたシミュレーション計算を実行し、その結果、中央および上下左右の位置に光学系を配置する際に、上下または左右の光学系のうち一つを画素端から一画素分ずらし、さらに上下左右の光学系の瞳角度を外側に 0.8 ラジアン傾けた場合に、様々な被写体に対して、再生画像の S/N 比が最も高くなることを見出している。これは、同じ F 値の光学系を有する従来の撮像装置と比較して、3.2dB の S/N 比向上に相当する。また、同一の撮像装置において、中央上下左右の光学系の空間距離差を用いた三角測距の原理による距離情報抽出も行い、被写体と撮像装置の間の距離を求めることにも成功している。これらは、極めて有用な成果である。図 1 は、今回の動作確認に用いた 5 つの光学系を有する多重光学系撮像装置である。図 2 は、多重光学系撮像装置の動作を確認した時の、重光学系撮像装置における撮像素子で得られた光信号の画像と信号処理後の画像の代表例である。図 3 は、被写体がカラーバー、三人の女性、銅像の場合の多重光学系撮像装置における上下左右の 4 つの光学系の瞳の傾きと S/N 比との関係を表したものである。このデータにより、上下左右の 4 つの光学系の瞳角度を外側に 0.8 ラジアン傾けた場合に、多重光学系撮像装置の信号対雑音比が最も高くなり、同じ F 値の光学系を有する従来の撮像装置と比較して、3.2dB 向上していることが判る。図 4 は、多重光学系撮像装置から被写体までの距離情報を獲得出来る機能を有することを確認した被写体情報である。

第 5 章は、結論である。本研究の目的の一つめに関しては、撮像素子から出力された多重に光情報が重畳した光信号を逆関数を用いて信号処理することにより、多重光学系撮像装置の動作が確認できたことをのべ、目的の二つめに関しては、多重光学系に使用している光学系と同じ F 値の光学系を有する従来の撮像装置と比較して、多重光学系撮像装置の S/N 比の方が、最大 3.2dB 向上することが確認できたことを述べ、目的の三つめに関しては、多重光学系撮像装置の中央上下左右の光学系の空間距離差を用いた三角測距の原理により、被写体と撮像装置の間の距離を求める機能を有することが確認できたことを述べている。

以上要するに本論文は、撮像素子のひとつの画素に複数の光学系からの光線情報が入る新しい多重光学系撮像装置を提案し、その原理を明らかにして動作を確認し、高性能化として S/N 比の向上と、高機能化として距離抽出を実現したものであり、半導体工学、画像電子工学に寄与するところが少なくない。

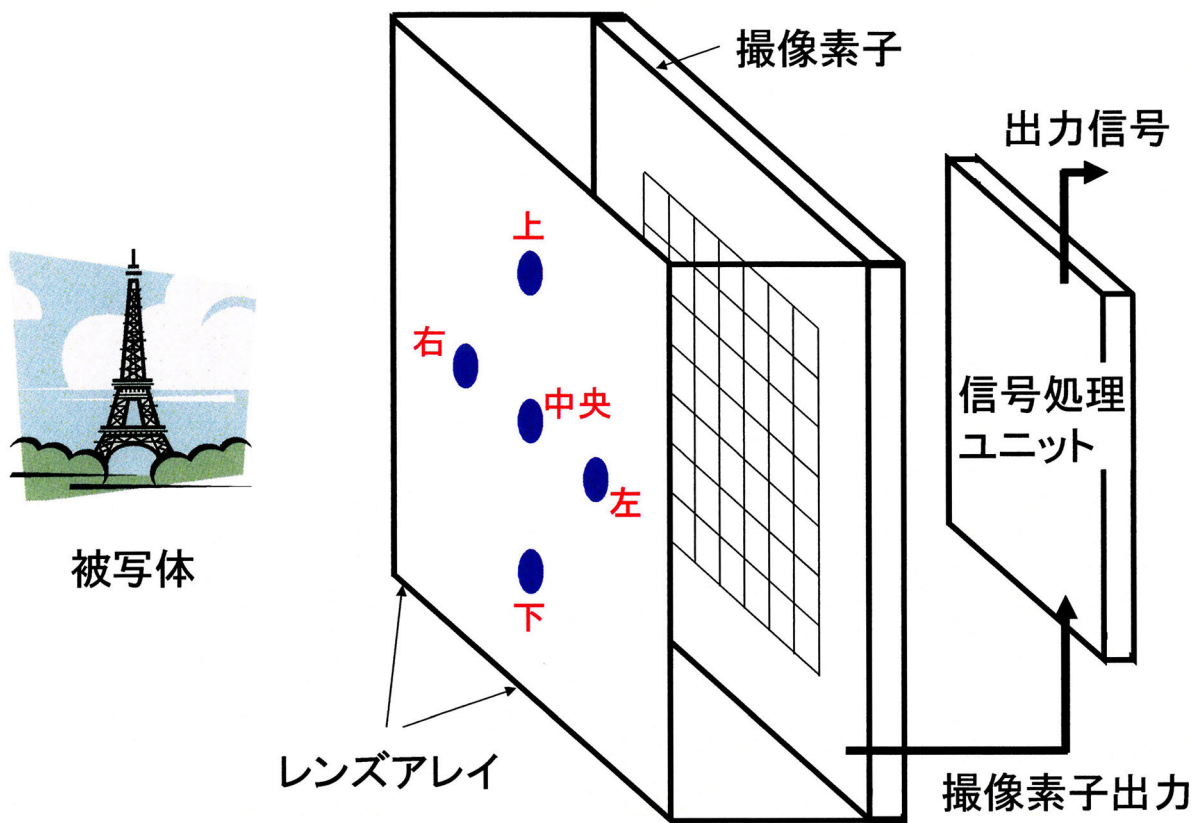
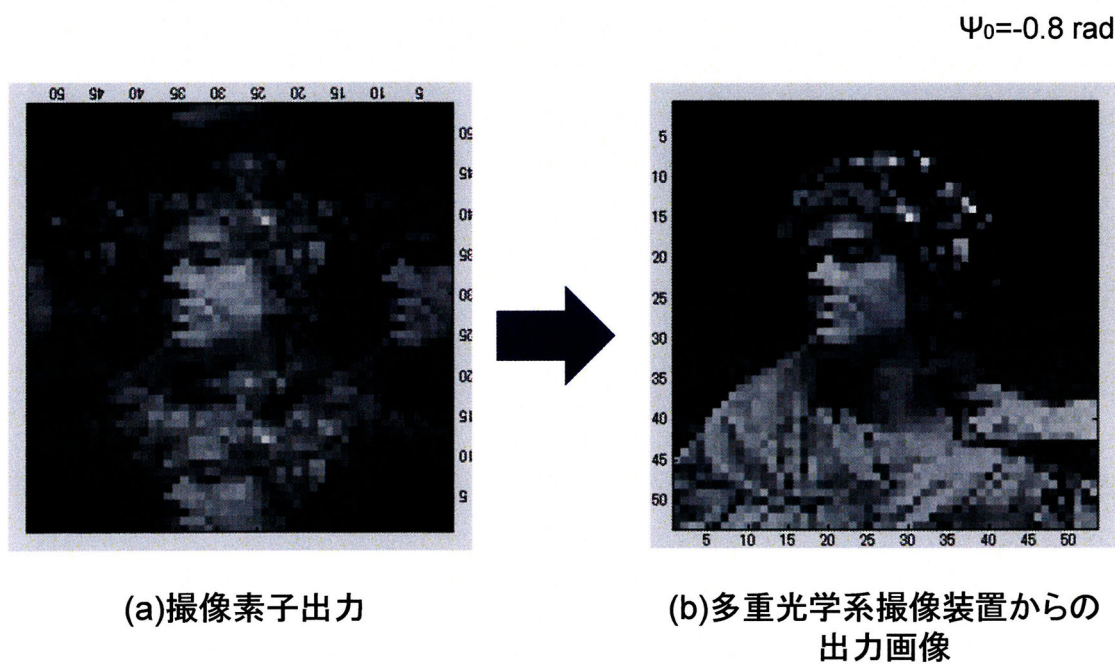


図1 5つの光学系を有する多重光学系撮像装置



※上下部と右部の光学系の光軸が、撮像領域の外側1画素めに位置する
 ※左部の光学系の光軸が撮像領域の外周の画素上にある

図2 多重光学系撮像装置における撮像素子の出力と信号処理後の画像

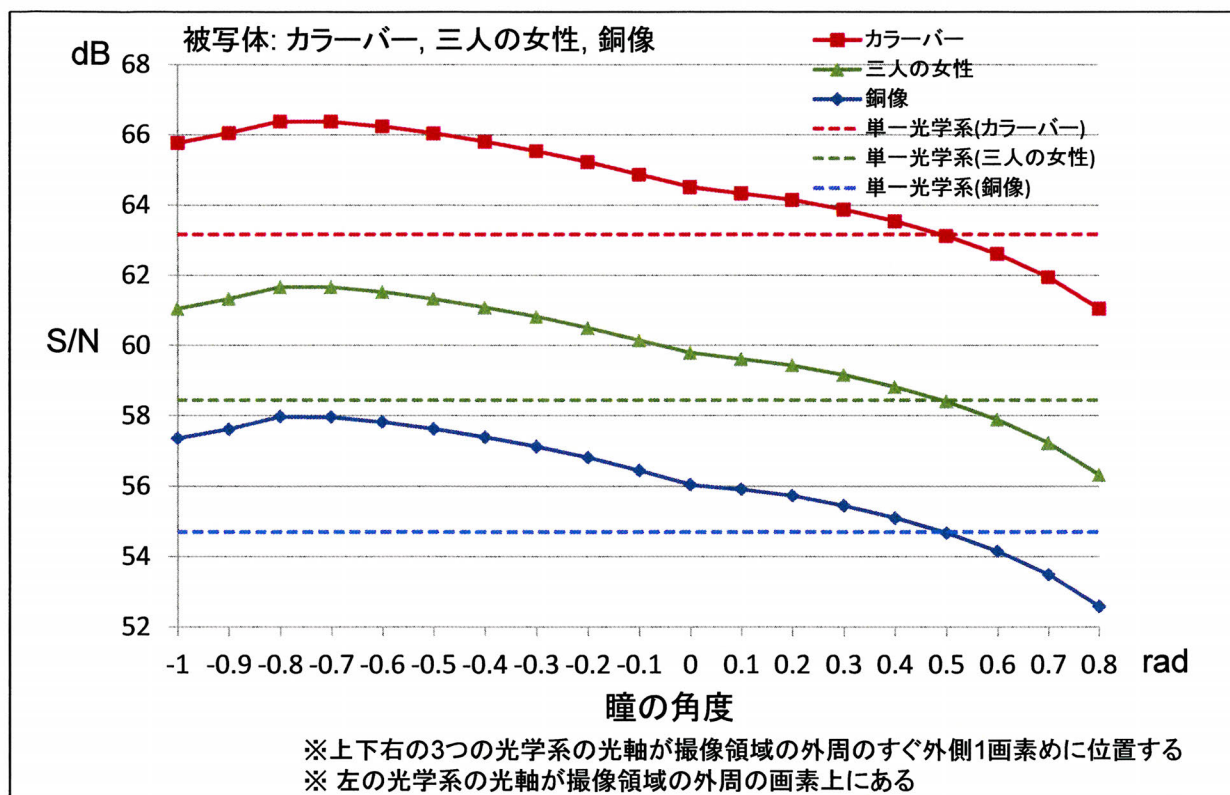


図3 上下左右の4つの光学系の瞳の傾きと信号対雑音比との関係 (被写体: カラーバー, 三人の女性, 銅像)

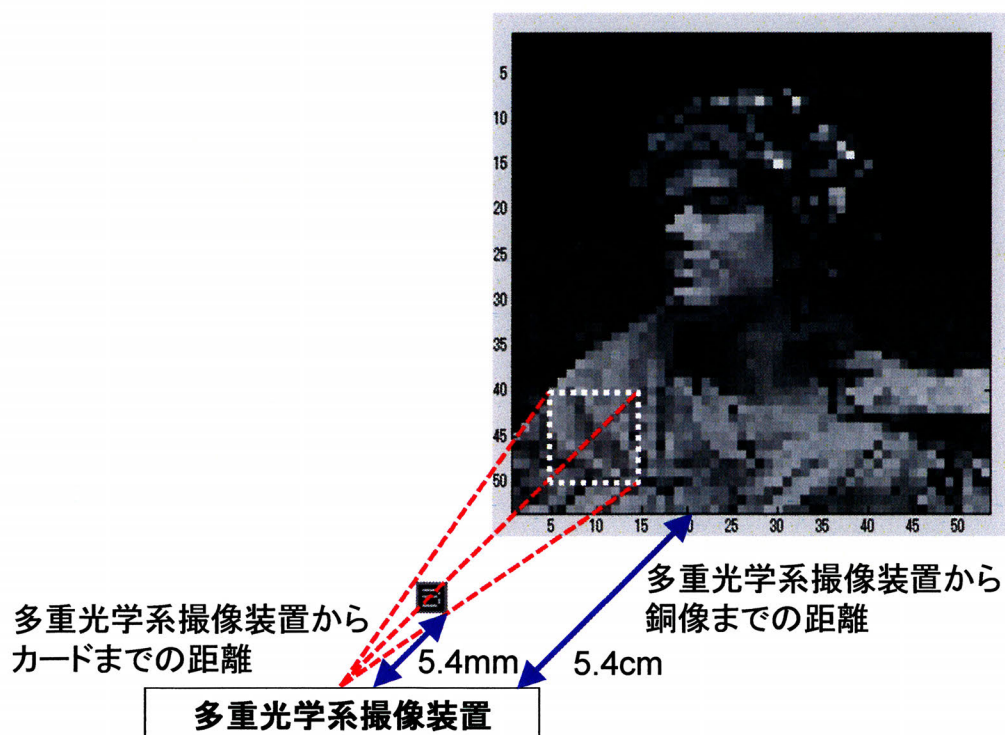


図4 多重光学系撮像装置から被写体までの距離を算出した被写体情報

論文審査結果の要旨

近年、撮像素子の高画質化、高機能化が飛躍的に進み、デジタルカメラや携帯電話などの撮像装置の高性能化が大いに図られている。これは、撮像素子の画素サイズ縮小による高解像度化と小型化によるところが多いが、最近では、画素サイズが光の波長と同オーダーになってきており、今以上に画素の微細化を進めても、解像度を向上できないような状況に達している。一方で、撮像素子には、単に撮影するだけではない他の機能の付加も求められるようになってきている。本論文は、こうした背景に鑑み、撮像素子のひとつの画素に複数の光学系からの光線情報が入るという従来にない構造的長持を持つ新しい概念の多重光学系撮像装置を提案し、その原理の確認と、画質の向上および付加機能としての距離抽出の性能についてまとめたものであり、全文5章からなる。

第1章は、序論である。

第2章では、撮像素子および撮像装置の技術動向を分析し、先行研究に対する当該論文の新規性を明らかにしている。近年進展し続けるノイズの低減技術と画像信号処理技術を有効に活用し、ひとつの画素に複数の光学系からの光線情報が入るという構成を用いることにより、被写体までの距離を抽出する機能を付加し、高解像度、高 S/N 比、小型、軽量といった特性を併せ持つ、多重光学系撮像装置の実現性を明らかにすることが本論文の目的であることを明確にしている。

第3章では、多重光学系撮像装置の理論的考察、動作原理確認を行っている。多重光学系撮像装置は、複数の光学系、ひとつの撮像素子、画像信号処理装置から構成され、撮像素子から出力された多重に光情報が重畳した光信号を処理することによって高画質な再生画像を得る撮像装置であり、その理論的考察として、被写体から撮像装置に入力される生の光情報と、撮像素子で得られた光信号との関係を定式化した上で、所望の画像を算出する手法を述べている。さらに、多重光学系撮像装置の画質を S/N 比として定量的に評価する方法を明らかにし、また、距離情報を抽出する方法についても明らかにしている。これは、新規かつ極めて重要な成果である。

第4章では、多重光学系撮像装置の動作とその特性の確認を行った結果について述べている。5つの光学系を設置する位置とその瞳角度を変化させたシミュレーション計算を実行し、その結果、中央および上下左右の位置に光学系を配置する際に、上下または左右の光学系のうち一つを画素端から一画素分ずらし、さらに上下左右の光学系の瞳角度を外側に 0.8 ラジアン傾けた場合に、様々な被写体に対して、再生画像の S/N 比が最も高くなることを見出している。これは、同じ F 値の光学系を有する従来の撮像装置と比較して、3.2dB の S/N 比向上に相当する。また、同一の撮像装置において、中央上下左右の光学系の空間距離差を用いた三角測距の原理による距離情報抽出も行い、被写体と撮像装置の間の距離を求めることにも成功している。これらは、極めて有用な成果である。

第5章は、結論である。

以上要するに本論文は、撮像素子のひとつの画素に複数の光学系からの光線情報が入る新しい多重光学系撮像装置を提案し、その原理を明らかにして動作を確認し、高性能化として S/N 比の向上と、高機能化として距離抽出を実現したものであり、半導体工学、画像電子工学に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。